慶太	○阿部	正会員	鉄道総合技術研究所
修一	獅子目	正会員	
晋	中村	正会員	日本大学
郁政	吉田	正会員	東京都市大学
正	河井	正会員	東北大学

# 1. 目的

原子力施設へのリスク評価においては、斜面安定性評価に加え、想定外の地震動による斜面崩壊後の岩塊、 土砂の挙動の解析的な評価も重要である.そこで、筆者らは、岩塊、土砂模型を用いた大型の転動・流動実験 を行い、個別要素法と Material Point Method (以下, MPM) による再現解析を行った<sup>1)</sup>.その結果、岩塊の挙 動に対しては個別要素法、土砂の挙動に対しては MPM の適用性の高さが確認された.本件では、MPM の土 砂挙動への適用に焦点を絞り、小型・大型流動実験より得られた土砂模型の挙動と衝突荷重に対し、MPM に

よる再現解析を行い,適用性の明確化を目的とした.

# 2. 小型・大型流動実験の概要

図-1 に小型流動実験後の写真を示す.実験に用い た小型斜面模型は,斜面勾配 41 度,高さ 2.0m,平坦 部長さ 6.3m,奥行き幅 4.5m であり,底面に対し斜 面奥手方向に竹ほうき等でひっかくことで均等に凹 凸を付与したものである.土砂模型には,代表径 40 ~80mmの塊状の石灰石 495 個(495 個のうち 100 個 が扁長率=扁平率=0.67 以内に 80%収まる形状のも の)に,細粒分(ファインサンドと東北けい砂 6 号 を重量比 1:1 で配合したもの)を全重量の 20%分の 重量になるように配合したものを用いた.この土砂 模型を斜面高さ 2.0mの位置からホッパーを用いて流 下させ,流動後の土砂模型の堆積状況を把握した. その結果,図-1 に示すように,細粒分を中心に斜面 部と平坦部境界に塊として堆積する一方,石灰石が 個々離散的に散らばる結果になった.

図-2 に大型流動実験前後の写真を示す.実験に用 いた大型斜面模型は,文献 1)に示したものと同じで あり,底面に複数のPC板を敷設した奥行き幅5.0m, 5.0m 長の43 度勾配斜面,5.7m 長の29 度勾配斜面, 7.5m 長の平坦部からなるものである.また,平坦部 に幅 2.2m,高さ0.5mの反力壁を構築し,土砂模型 が衝突し堆積した際の荷重の時刻歴を計測した.土



図-1 小型流動実験後の写真



図-2 大型流動実験前後の写真

砂模型には体積 1.0m<sup>3</sup>の粒度調整砕石 M40 を用い, 図−2 に示すように 2.3m×1.9m の面積のトラック荷台に密 度が約 18.5kN/m<sup>3</sup>, 高さ 0.2m になるように締め固めをし, 荷台を 66 度傾けて流下させた. その結果, 図−2 に 示すように土砂模型が反力壁に衝突し, 壁前面に堆積する結果になった.

キーワード 土砂,流動,MPM,衝突荷重 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261 300

100

0

(kPa) 200

軸差応力

以上の実験を通して,小型流動実 験からは, 岩塊と細粒分が混合した ものが流動した場合の土砂の堆積 状況の特徴,大型流動実験からは, 土砂が構造物に衝突した際の荷重 の特性を把握した.

### 3. 再現解析

#### 3.1 解析モデル

解析モデルについては,斜面形状,

土砂模型の初期位置は試験条件に基づき設定 し,斜面底面は摩擦境界,反力壁は固定境界で モデル化した.土砂模型は図-3に示すように三 軸圧縮試験結果に基づき Drucker-Prager の降伏 面を有すバイリニアモデルでモデル化した.

### 3.2 解析結果

図-4 に小型流動実験における土砂模型の堆 積状況について実験結果と解析結果の比較を 示す. なお、実験結果は底面を 0.6m×0.6m の単 位区間に分けた際に, 各区間に堆積した土砂模 型の位置をプロットしたものである. 解析結果 は実験結果に比べ土砂の拡がりにおいて過小 になった.一方,各区間で石灰石が5個以下の 範囲を図-4に示す.解析結果は、石灰石が5個 以上の範囲と概ね一致している.このことから, MPM による解析は、石灰石が個々離散的に散 らばった範囲(ここでは、石灰石が5個以下の 範囲)以外の主に細粒分が堆積した範囲の予測



に対して再現性が良いことが分かった.これは、解析では土砂模型を一様な物性を有したものとしてモデル化 しており,石灰石が分離し個々に離散的に広がる状況を表現できるモデル化になっていないことが考えられる.

図-5 に大型流動実験において、反力壁に作用した衝突荷重の時刻歴についての実験結果と解析結果の比較 を示す. 解析結果は実験結果に対し, 初期では過大になっているが, 後半部分では同等な値になった. これは, 土砂模型の衝突荷重は、土砂模型の衝突方向速度のみでなく、土砂模型と反力壁間の摩擦や剛性の違い等にも 影響を受けるが、本件で用いた解析モデルでは、反力壁を固定境界としてモデル化しており、これらの影響を 考慮できていないことが、実験結果と解析結果に差が生じた原因と考えられる。特に剛性の違いについては、 実験では荷重計前面に約10mm厚のコンクリートパネルを設置したが,解析ではこのパネルの影響を考慮して おらず、この点が特に初期の荷重の大きさの違いに影響を与えたものと考えられる.

## 4 まとめ

本件では, 土砂の挙動と衝突荷重特性に対する MPM による再現性について検討した. その結果, 岩塊が個々 離散的に拡がる範囲以外、すなわち細粒分が主な範囲の堆積状況と衝突荷重について良好な再現性を示した. 謝辞 本研究は原子力規制庁からの受託業務で実施したものです.ここに謝辞を表します.

参考文献 1) 阿部他: 大型斜面による岩塊転動と土砂流動の挙動および衝撃荷重特性に関する検討, 第59 回地 盤工学シンポジウム平成 26 年度論文集, pp.155-162, 2014.